

Aus der Universitäts-Augenklinik Marburg a. d. Lahn

Direktor: Professor Dr. med. W. Straub

THESIS

MARBURG 1967

**Untersuchungen über den
Sauerstoffgehalt des Kammerwassers
und des Glaskörpers lebender Augen
nach Beatmung mit verschiedenen
Gasgemischen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Jörn Linden

aus Duisburg-Hamborn

Marburg 1968

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Aus der Universitäts-Augenklinik Marburg a. d. Lahn
Direktor: Professor Dr. med. W. Straub

Untersuchungen über den Sauerstoffgehalt des Kammerwassers und des Glaskörpers lebender Augen nach Beatmung mit verschiedenen Gasgemischen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Jörn Linden

aus Duisburg-Hamborn

Marburg 1968

Untersuchungen über den
Zusatzgehalt des Kommerzwassers
und des Glasköper lebender Augen
nach Bestimmung mit verschiedenen
Geräten

von
Prof. Dr. med. R. Siegert
Referent: Prof. Dr. med. W. Straub
Correferent: Prof. Dr. med. J.H. Rodenhäuser

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am: 30.4.1968

Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan: Prof. Dr. med. R. Siegert
Referent: Prof. Dr. med. W. Straub
Correferent: Prof. Dr. med. J.H. Rodenhäuser

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>Einleitung</u>	1
<u>Methodik</u>	3
a) Polarographie	3
b) Apparatur und Elektrode	4
c) Eichung	6
d) Durchführung der Versuche	9
<u>Ergebnisse</u>	13
a) Vorderkammermessungen	13
b) Glaskörpermessungen	15
<u>Diskussion</u>	20
a) Vorderkammer	20
b) Glaskörper	22
<u>Zusammenfassung</u>	26
<u>Literaturverzeichnis</u>	27



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Einleitung

Die Wirkung des Sauerstoffs auf morphologische und funktionelle Veränderungen des Auges ist vielfach Gegenstand klinischer und experimenteller Forschung gewesen. Neben hierdurch gewonnenen grundsätzlichen physiologischen Erkenntnissen waren die Ergebnisse von praktischer Bedeutung z. B. in der Raumfahrt- und Verkehrsmedizin, wie auch unter therapeutischen Gesichtspunkten bei akuten und chronischen arteriellen Durchblutungsstörungen.

So führt eine Unterbrechung der Blutzufuhr zur Netzhaut und damit der Sauerstoffversorgung zu einem sofortigen Funktionsausfall der Netzhaut. Erst eine längere Ischämie von über 15 Minuten Dauer hat auch bleibende morphologische Veränderungen am Sinnesepithel zur Folge (WEGNER 1928, POPP 1955, PAPST u. HECK 1957, BÖCK, BORNSCHEIN u. HOMMER 1964). Eine Erniedrigung des Sauerstoffgehaltes der Atemluft beeinträchtigt die Helligkeitswahrnehmung des Auges (SCHUBERT u. BORNSCHEIN 1952), den Farbsinn (VELHAGEN 1936, SCHMIDT 1937), den Ablauf der Dunkeladaptation (FISCHER u. JONGBLOED 1936, BYRNES 1951, CIBIS 1952, RUFF u. STRUGHOLD 1957), die beidäugige Zusammenarbeit (BIETTI u. GIARDINI 1949, RUFF u. STRUGHOLD 1957), das Gesichtsfeld (GOLDMANN u. SCHUBERT 1933, KYRIELEIS u. SIEGERT 1936), wie auch die Permeabilität der Blutkammerwasserschranke (GIARDINI 1952).

Andererseits führt eine Erhöhung der Sauerstoffspannung in der Atemluft zu Veränderungen im Elektroretinogramm (NOELL 1955) und am noch nicht völlig entwickelten Auge zu bleibenden Schäden, wie wir es am Beispiel der retrolentalen Fibroplasie sehen.

Rückschlüsse auf den Sauerstoffverbrauch und die Durchblutungsgröße des Auges zog KANEKO (1925) auf Grund von Blutgasanalysen des arteriellen und venösen Blutes bei Hunden. MEESMANN (1930) und FISCHER (1930) bestimmten den Sauerstoffverbrauch des Auges ebenfalls durch Messungen des dem Auge zufließenden

und von ihm abfließenden Blutes. MASHIMO (1809) beschäftigte sich wohl als erster mit dem Sauerstoffverbrauch der Linse. Er führte seine Untersuchungen mit dem Mikrospirometer nach WINTERSTEIN durch. Mit der WARBURG'schen Apparatur bestimmten KRONFELD (1927), KRONFELD u. BOTHMANN (1928) den Sauerstoffgehalt der Linse. Um Aufschluß über den Sauerstoffgehalt des Kammerwassers zu erhalten, punktierte DE HAAN (1922) die Vorderkammer von Kaninchen und analysierte das Kammerwasser mit der mikroskopischen Tonometrie nach KROG. Die Abhängigkeit des Sauerstoffgehaltes des Kammerwassers vom Linsenstoffwechsel bei lebenden Hunden untersuchten FRIEDENWALD u. PIERCE (1937). Polarographisch ermittelten HEALD u. LANGHAM (1956) mit einer Quecksilber-Tropfelektrode den Sauerstoffgehalt in der Vorderkammer von Kaninchenaugen. Mit der von NEUMANN (1958) beschriebenen polarographischen Messzelle wurde der Sauerstoffgehalt von Kammerwasserpunkten erstmals menschlicher Augen von KLEIFELD u. NEUMANN (1959) untersucht. Die ersten fortlaufenden Messungen auf polarographischem Wege in der Vorderkammer wurden von DRENCKHAN u. LORENZEN (1958) durchgeführt. Sie stachen eine blanke, nadelförmige Platinelektrode, die mit wechselnder Spannung arbeitete, in die Vorderkammer lebender Kaninchen ein. Über polarographische Sauerstoffmessungen mit einer Platinelektrode im Glaskörper berichteten als erste KRAUSE u. GOREN (1956). Sie entfernten hierzu die Hornhaut und die Linse an lebenden Katzenaugen und ermittelten den Sauerstoffgehalt des Glaskörpergewebes bei Hyperoxie und Hypoxie in der Atemluft. Fortlaufende Messungen an lebenden, intakten Kaninchenaugen führte DRIEST (1966) durch.

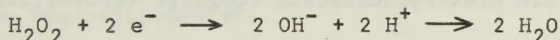
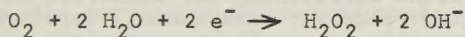
In der vorliegenden Arbeit wird über Sauerstoffmessungen im Kammerwasser und Glaskörper lebender, intakter Kaninchenaugen nach Beatmung mit Gasgemischen unterschiedlicher Sauerstoffspannung berichtet. Es wird versucht, aus den Ergebnissen Rückschlüsse auf die Versorgungsbedingungen der umgebenden Gewebe mit Sauerstoff abzuleiten.

Methodik

Die Sauerstoffdruckmessungen erfolgten auf polarographischem Wege mit einer nach CLARK aufgebauten membran- geschützten Platinelektrode.

a) Polarographie

Der Möglichkeit der polarographischen Sauerstoffmessungen liegt folgendes Prinzip zugrunde. Molekularer Sauerstoff diffundiert an eine Platinelektrodenoberfläche, an der eine negative Spannung angelegt ist. Die positive Spannung liegt an einer Silberelektrode, die damit als Anode dient. Der Sauerstoff wird durch Anlagerung von 2 Elektronen zu H_2O_2 und durch 2 weitere zu Wasser reduziert. Dieser Reduktionsvorgang läuft im neutralen oder alkalischen Medium, mit chemischen Formeln ausgedrückt, wahrscheinlich folgendermaßen ab (GLEICHMANN u. LÜBBERS, 1960):



Die Nachlieferung des bei der Reduktion an der Platin- oberfläche verbrauchten molekularen Sauerstoffs erfolgt durch Diffusion, deren Größe von dem Sauerstoffpartial- druck abhängig ist. Wählt man die angelegte Spannung so, daß alle an die Platinoberfläche diffundierenden Sauer- stoffmoleküle reduziert werden, dann ist der im Messkreis (Abb. 1) fließende Strom, der Reduktions- oder Diffusions- strom, nur noch von der Menge des andiffundierenden Sauer- stoffs abhängig. Die Stärke des Reduktions- oder Diffu- sionsstroms ist damit dem Sauerstoffpartialdruck pro- portional.

Die polarographische Sauerstoffdruckmessung in biolo- gischen Medien mit Hilfe einer Platinelektrode wurde von DAVIS u. BRINK (1942) eingeführt, und seither für O_2 -Untersuchungen verschiedener Gewebe und Flüssigkeiten angewandt.

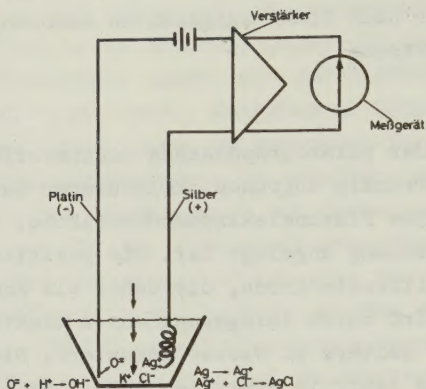


Abb. 1: Schematische Darstellung der Elektrode mit angelegter Polarisationsspannung, Verstärker und Messgerät. An der Elektrodenspitze sind die elektrochemischen Vorgänge verdeutlicht.

b) Apparatur und Elektrode

Durch die CLARKsche Konzeption (CLARK et al. 1953) der polarographischen Sauerstoffdruckmessung unter Verwendung einer membrangeschützten Platinelektrode ange-regt, sind in der Folgezeit von REEVES, RENNIE u. PAPPENHEIMER (1957), SEVERINGHAUS u. BRADLEY (1958), LÜBBERS u. OCKENGA (1958), GRÄNGSJÖ u. ULFENDAHL (1958), JOHANSEN u. KROG (1959), GLEICHMANN u. LÜBBERS (1960) Modifikationen der CLARKschen Elektrode konstruiert worden. Der von uns verwendete membrangeschützte Elektroden-typ wurde von LISTON zu einer Miniaturelektrode umge-staltet, die zum Schutze gegen mechanische Beschädigung und zum besseren Einführen in die zu untersuchenden Ge-webe und Flüssigkeiten von einer etwa 1,1 mm dicken Flügelkanüle umgeben ist. (Hersteller: Fa. BECKMAN Instr. München).

In dieser Elektrode ist ein 10 μ dicker Platindraht konzentrisch in eine Glaskapillare eingeschmolzen, so daß nur die Spitze des Drahtes frei bleibt. Die Referenzelektrode wird durch eine Silbermembran, die die Platin-kathodeneinheit mantelförmig umgibt, gebildet. Den Kopf der Elektrode schließt eine hutförmig gestaltete und nur für Gase durchlässige Polyäthylenmembran von 25 - 30 μ Dicke ab, unter welcher sich eine 3%ige Kaliumchlorid-lösung als Elektrolyt befindet. Ein Schirmkabel, dessen Seele mit der Kathode (Platindraht) und dessen Schirm mit der Anode (Silbermantel) verlötet ist, bildet die Verbindung zum Messgerät, einem Transistorverstärker, der nach dem Prinzip eines Zehhackers arbeitet und mit einem eingebauten Stabilisator für Netzspannungsschwankungen versehen ist (Abb. 2). Die Polarisationsspannung liegt bei 680 mV. Auf dem angeschlossenen Potentiometerschreiber können die gemessenen Sauerstoffdrucke kontinuierlich registriert werden. Die Ablesegenauigkeit beträgt 2 Torr/4,5 mm Registrierpapier.

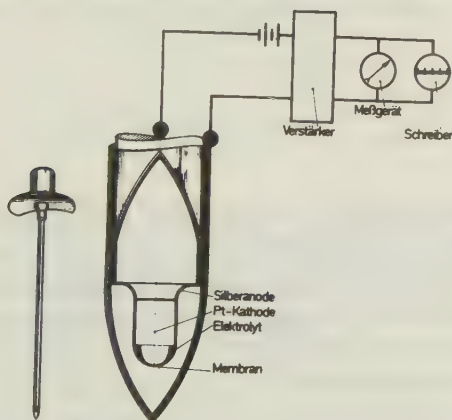


Abb. 2: Schematische, vergrößerte Darstellung der benutzten Platinelektrode mit Spannungsquelle, Verstärker und Schreiber.

Nach GLEICHMANN u. LÜBBERS (1960) berechnet sich der Sauerstoffabfall, der durch den Eigenverbrauch der Elektrode bedingt ist, mit folgender Formel:

$$\frac{p \text{ Torr}}{t \text{ min}} = 2,66 \frac{i}{\alpha \cdot v}$$

worin i der bei gemessenem Druck fließende Strom in mA, α der BUNSENSche Löslichkeitskoeffizient $\frac{\text{ml O}_2}{\text{ml Atm}}$ und v ml die zur Verfügung stehende Flüssigkeitsmenge darstellt.

Wegen der kleinen Dimensionierung der verwendeten Minia-turelektrode ist der Sauerstoffverbrauch so gering, daß er praktisch vernachlässigt werden kann.

Als Latenzzeit wurde die Zeit vom Einschalten eines neuen Gasgemisches bis zum Ansprechen der Elektrode bezeichnet und registriert. Die Steigdauer gibt die Zeit vom Ansprechen der Elektrode bis zur Einstellung eines neuen Niveaus wieder. Abb. 12 verdeutlicht die definierten Zeiten.

c) Eichung

Da Temperaturerhöhung oder -herabsetzung im untersuchten Medium und damit an der Elektrodenspitze eine Änderung der Diffusionsverhältnisse an der Polyäthylenmembran zur Folge hat, können durch Temperaturschwankungen scheinbar höhere und niedrigere Sauerstoffdrucke bei gleichbleibendem wirklich vorhandenen $p\text{O}_2$ angezeigt werden. Vor Beginn der Messungen sind also genaue Eichungen notwendig, wobei die Temperatur von Eich- und untersuchtem Medium gleich sein muß.

Zur Konstanterhaltung der Eichtemperatur diente uns ein mit Thermostat und Rührwerk versehenes Wasserbad, in dem mehrere mit Aqua dest. gefüllte Reagenzröhrchen angebracht waren (Abb. 3). Diese wurden mit verschiedenen Eichgasgemischen über Vorwärmspiralen mittels Fritten durchperlt. Als Eichgasgemische benutzten wir die später zur Beatmung der Versuchstiere verwandten Gase, deren Sauerstoffkonzentration mit dem Gasanalysator nach SCHOLANDER bestimmt wurde.

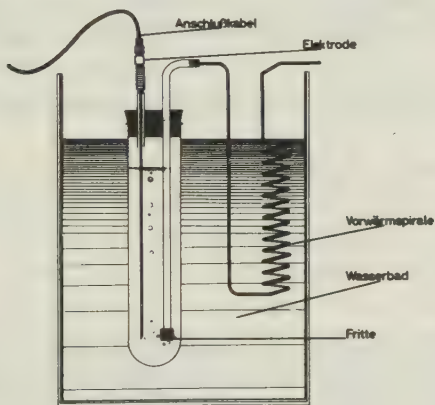


Abb. 3: Äquilibriergefäß mit eingeführter Fritte, durch welche über Vorwärmspiralen Eichgas vorgewärmtes Aqua dest. durchperlt. Zur Bestimmung des vorhandenen Sauerstoffpartialdruckes ist die Elektrode durch ein kleines Glasröhrchen eingeführt.

Zur Eichung und den späteren Beatmungsversuchen verwandten wir sieben Gasgemische folgender Sauerstoffkonzentrationen:

1. 20,9 %	5. 78,5 %
2. 36,7 %	6. 85,7 %
3. 45,8 %	7. 99,5 %
4. 56,4 %	

Bei allen Gasgemischen war der Kohlendioxyd-Anteil kleiner als 1 %, der Rest bestand aus Stickstoff.

Aus den Sauerstoffkonzentrationen wurde der Sauerstoffpartialdruck nach folgender Formel errechnet:

$$p(\text{mmHg}) = \frac{\text{jeweiliger Luftdruck in mm Hg} - \text{Wasserdampfdruck in mm Hg}}{100} \cdot \text{Volumenprozent des Gases}$$

Es ergeben sich für 36,1° C folgende Sauerstoffpartialdrucke:

1. 147 mm Hg	5. 540 mm Hg
2. 257 mm Hg	6. 600 mm Hg
3. 321 mm Hg	7. 697 mm Hg
4. 395 mm Hg	

Zur Bestimmung des Nullpunktes wurde eine 5%ige Glucoselösung verwandt, die durch 5 Tropfen einer Glucoseoxydase-Lösung pro 5 ml der Lösung desoxygeniert wurde.

Die Temperatur der untersuchten Flüssigkeit betrug nach JACOBI u. DRIEST (1966) bei Messungen in der Vorderkammer 34,3° C, im Glaskörper 36,1° C. Die Temperatur der Eichlösung wurde auf diese Werte eingestellt.

Nach ca. 30 Minuten waren die Proben in den Reagenzröhrchen vollständig mit Eichgas äquilibriert und die eingestellte Temperatur erreicht. Der Verstärker wurde entsprechend den bekannten Sauerstoffpartialdrucken der Gase eingestellt. Weitere methodische Einzelheiten wurden bereits veröffentlicht (JACOBI 1965).

d) Durchführung der Versuche

Nachdem die Elektrode mit der Polyäthylenmembran bezogen war und auf die dem zu untersuchenden Medium entsprechende Temperatur geeicht ist, können die eigentlichen Untersuchungen am Tier beginnen. Junge Kaninchen mit einem Gewicht zwischen 3 kg und 5 kg wurden zwei Stunden vor Messbeginn durch eine intraperitoneale Injektion mit körperwarmer, annähernd blutisotoner URETHAN-Lösung (1,2 g URETHAN pro kg Körpergewicht) narkotisiert, nachdem ihnen 30 Minuten zuvor 50 mg MEGAPHEN subcutan injiziert worden waren. Zur Aufrechterhaltung der notwendigen Narkosetiefe gaben wir in zweistündigem Abstand 1 g URETHAN als Lösung intraperitoneal. Bei den Vorderkammer- und Glaskörpermessungen wurden die Pupillen mit MYDRIATICUM ROCHE oder mit NEOSYNEPHRINE maximal erweitert.

Die so vorbereiteten Versuchstiere wurden in narkotisiertem Zustand auf einem beheizbaren Operationstisch fixiert. Unter Schonung der Halsgefäße und Nerven wurde von einem medianen Hautschnitt aus die Trachea stumpf freipräpariert und dann scharf mit einem Skalpell eröffnet. Etwaige Blutungen stillten wir mit einem Kauter. Die eingeführte Trachealkanüle wurde mit Seidenligaturen befestigt und an die Beatmungspumpe nach SCHULER (Fa. BRAUN, Melsungen) angeschlossen (Abb. 4). Mit 32 Atemzügen pro Minute entsprach die Einstellung der physiologischen Atemfrequenz. Zur Beatmung verwandten wir Gasgemische mit unterschiedlichen Sauerstoffkonzentrationen aus Gasflaschen, die liegend aufbewahrt wurden.

Bei den Messungen in der Vorderkammer durchstachen wir die Cornea in schräger Richtung etwa zwei Millimeter vom Limbus entfernt und fixierten die Messelektrode in der gewünschten Lage (Abb. 5). Sollte das Versuchstier überleben, bedurfte die Perforationsstelle außer einem antibiotischen Schutz keiner weiteren Versorgung.



Abb. 4: Kaninchen in Urethannarkose mit intra-trachealer Beatmungskanüle, die mit einer Beatmungspumpe nach SCHULER (Fa. BRAUN, Melsungen) verbunden ist.

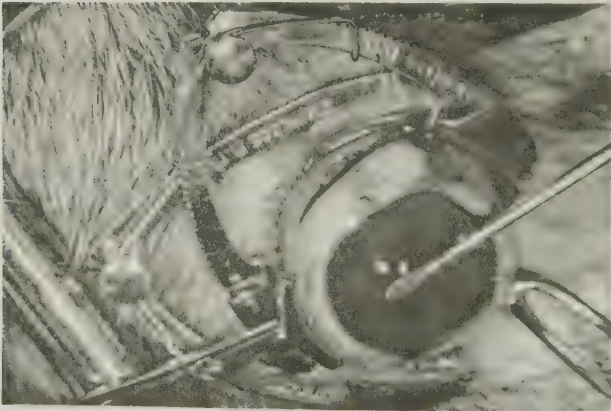


Abb. 5: Kanüle mit eingeführtem Mandrin in der Vorderkammer des Kaninchenauges. Nach Entfernung des Mandrins kann die Platinelektrode zum Messvorgang eingesetzt werden.

Bei der Sauerstoffpartialdruckmessung im Glaskörper wurde die Elektrodeneinstichstelle kurz hinter der Ansatzfläche des M. ciliaris durch einen Kauter punktförmig verschorft. Hierdurch sollten mögliche Netzhaut- und Glaskörperblutungen, die den Einblick erschweren und die Messergebnisse verfälschen würden, vermieden werden. Durch die so vorbereitete Einstichstelle ließ sich die Messelektrode leicht von Hand einführen und unter Augenspiegelkontrolle in die vorgesehene Lage bringen (Abb. 6). Um eine unerwünschte Lageänderung der Elektrodenspitze zu verhindern, konnte die Elektrode an einem hierfür konstruierten Mikromanipulator (Abb. 7) fixiert werden. Das Auge des Versuchstieres war durch Sklerafäden in seiner Lage befestigt. Nach Versuchsende wurde die Einstichstelle an Sklera und Conjunctiva durch Seidennähte verschlossen und eine antibiotische Salbe eingestrichen. Bei Tieren, die überleben sollten, erfolgte operative Wundversorgung der Tracheotomie.



Abb. 6: Elektrodenspitze im Glaskörper des Kaninchen-
auges vor der Papille und den Markstrahlen.

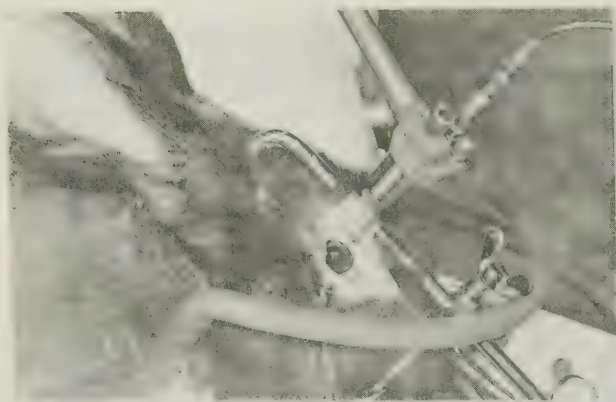


Abb. 7: Durch Mikromanipulator fixierte Mess-
elektrode bei Sauerstoffdruckmessung im
Glaskörper.

Ergebnisse

a) Vorderkammer

Für die benutzten 7 Gasgemische errechneten sich nach Abzug des Wasserdampfpartialdruckes für 34° C pO_2 -Werte zwischen 147 Torr und 697 Torr (s.o.). Mit den verschiedenen Beatmungsgemischen wurden an 8 Augen insgesamt 55 Messungen durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Vers. Nr.	147	257	321	395	540	600	697
38 a	34,0	62,7	79,4	108	184	234	340
38 b	39,0	81,6	103	112	206	234	276
39 a	34,2	56,0	79,4	106	155	184	234
39 b	34,2	42,0	67,4	89,7	142	161	240
39 c	48,5	80,0	101	119	183	213	266
40	23,0	26,7	30,4	34,6	63,7	73,2	94,1
43	23,8	35,4	48,3	56,5	103		133
44	24,8	39,3	48,3	59,5	96,9	111	133

Tab. 1: Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) in mm Hg in der Vorderkammer in Abhängigkeit vom pO_2 der Atemluft. Eichtemperatur 34,30° C.

In Abb. 8 sind auf der Abszisse die Sauerstoffdrucke der Atemluft, auf der Ordinate die in der Vorderkammer gemessenen pO_2 -Werte aufgetragen.

Es zeigt sich, daß mit zunehmendem Beatmungsdruck der pO_2 in der Vorderkammer bis zu einem maximalen Mittelwert von 340 Torr, der bei 697 mm Hg O_2 -Partialdruck der Atemluft erreicht wurde, ansteigt. Die Latenzzeiten liegen zwischen 30 Sekunden und 5 Minuten. Der Mittelwert beträgt 1 Min 42 Sek.

Ein unterschiedliches Verhalten für verschiedene erreichte Druckdifferenzen zeigt die Steigdauer. In Abb. 9 sind Klassen von jeweils 20 Torr Differenz zum vorhergehenden Messwert aufgetragen. Zwischen 0 und 20 mm Hg liegt die mittlere Steigdauer etwa um 6 Minuten, bei 81 - 100 Torr bei 11 Minuten.

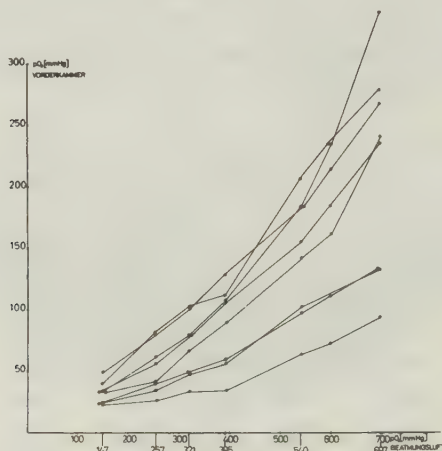


Abb. 8: Sauerstoffpartialdruck (pO_2) im Kammerwasser des Kaninchenauges in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt der Atemluft.
Abszisse: pO_2 der Atemluft in mm Hg
Ordinate: pO_2 im Kammerwasser in mm Hg.

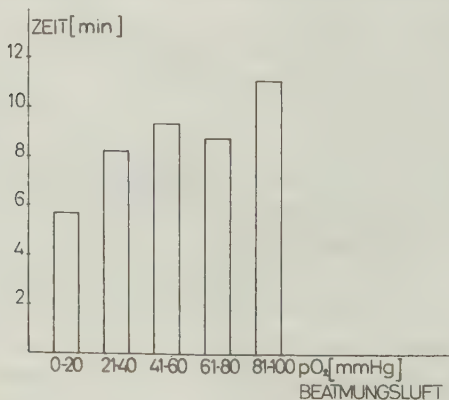


Abb. 9: Steigdauer bei Sauerstoffpartialdruckmessungen im Kammerwasser des Kaninchenauges.
Abszisse: Druckdifferenz in mm Hg
(Klassengröße 20 mm Hg)
Ordinate: Zeit in Minuten.

b) Glaskörper

Mit 7 Gasgemischen errechneten sich unter Berücksichtigung des Wasserdampfdruckes bei $36,1^{\circ}\text{C}$ und den täglichen atmosphärischen Druckschwankungen Sauerstoffpartialdrucke zwischen 147 und 697 Torr. Insgesamt wurden 116 Messungen durchgeführt, 23 im Glaskörperzentrum, 47 peripher und 46 vor der Papille.

Die Ergebnisse der Sauerstoffdruckmessungen im Glaskörper sind in den Tabellen 2, 3 und 4 für die jeweiligen Messbezirke wiedergegeben.

Vers. Nr.	147	257	395	540	697
21 a	2,0	4,4	9,6	15,9	34,9
22 a	0,5	9,8	20,6	30,4	43,0
31	2,5	7,8	34,4	66,6	80,1
34	5,0	7,9	10,2	13,1	20,0
36			5,0	25,9	49,5

Tab. 2: Sauerstoffpartialdruck (pO_2) in mm Hg im Glaskörper bei zentraler Elektrodenlage in Abhängigkeit von pO_2 der Atemluft. Eichtemperatur $36,1^{\circ}\text{C}$.

Vers. Nr.	147	257	321	395	540	600	697
19	12,3	20,0	28,9	36,0	61,0		109
20	2,5	6,0		13,8	25,0		54,2
27	3,9	7,8		26,4	54,3	73,8	
29	4,0	27,5		49,3	138		191
30	12,9	43,8		98,0	196		258
35	5,2	7,8	11,5	20,2	90,0	184	218
36	3,9	6,8	8,0	19,1	61,9	87,2	143
37	6,9	11,8	17,0	28,8	56,1	73,6	91,3

Tab. 3: Sauerstoffpartialdruck (pO_2) in mm Hg im Glaskörper bei peripherer Elektrodenlage in Abhängigkeit von pO_2 der Atemluft. Eichtemperatur $36,1^{\circ}\text{C}$.

Vers. Nr.	147	257	395	540	600	697
19	25,7	31,1	36,0	57,9		142
29	16,0	28,4	49,3	124	141	206
30	23,8	47,7	82,3	174	198	257
31	18,0	32,2	63,0	147	173	220
32	23,8	36,0	76,4	122	165	
33	25,1	53,0	103	181	230	252
36	14,4	41,2	79,9	156	188	218
37	28,8	54,1	83,0	156	179	194

Tab. 4: Sauerstoffpartialdruck (pO_2) in mm Hg im Glaskörper bei papillennaher Elektrodenlage in Abhängigkeit vom pO_2 der Atemluft.
Eichtemperatur $36,10^\circ \text{C}$.

Die Ergebnisse sind in Abb. 10 graphisch dargestellt, die auf der Abszisse die O_2 Drucke der Atemluft und auf der Ordinate den mittleren pO_2 an den verschiedenen Messbezirken zeigt. Wir finden zunächst einen geringen Anstieg für alle drei Kurven - zum Vergleich sind auch die Ergebnisse bei Vorderkammermessungen aufgetragen. Für papillennahe und etwas weniger ausgeprägt periphere Elektrodenlage ergibt sich dann eine zunehmende Steilheit. Es wird weiter deutlich, daß zentral die niedrigsten Werte für alle Beatmungsdrucke erreicht werden; peripher und papillennah werden höhere pO_2 -Werte registriert.

In der Abb. 11 sind die niedrigsten und höchst erreichten O_2 -Drucke und ihre Verteilung aufgezeichnet. Im Zentrum bestimmten wir bei 147 Torr pO_2 der Atemluft 0,5 bis 5,0 mm Hg. Bei Beatmung mit reinem Sauerstoff, der einem Partialdruck von 697 Torr entsprach, lagen die Werte zwischen 20,0 und 80,1 mm Hg. Die entsprechenden Zahlen für periphere Elektrodenlage sind 2,5 bis 12,9 bzw. 45,2 bis 258 mm Hg und für den Messort "papillennah" 14,4 bis 28,2 und 142 bis 257 mm Hg.

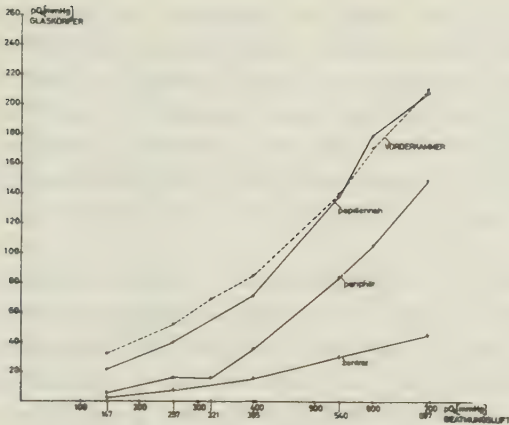


Abb. 10: Mittlere Sauerstoffpartialdrucke (pO_2 in mm Hg) im Glaskörper des Kaninchenauges bei zentraler, peripherer und papillennaher Elektrodenlage nach Beatmung mit Gasgemischen verschiedenen Sauerstoffgehalts.
Abszisse: pO_2 der Atemluft
Ordinate: pO_2 im Glaskörper

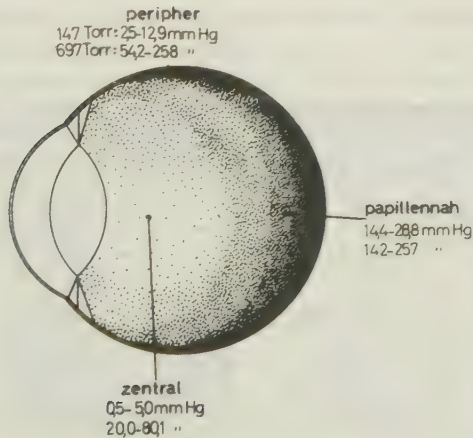


Abb. 11: pO_2 -Werte (Min. u. Max.) und ihre Verteilung im Glaskörper des Kaninchenauges bei Sauerstoffpartialdrucken der Atemluft von 147 Torr und 697 Torr.

Die Analyse der zeitlichen Abläufe geht aus Abb. 12, einer Originalkurve unserer Versuche, hervor. Nachdem sich bei einem bestimmten pO_2 ein konstanter Wert eingestellt hatte, wurde ein neues Gasgemisch zugeführt. Die Zeit, die bis zum Ansprechen der Elektrode vergeht, bezeichnen wir als Latenzzeit. Als Steigdauer wurde der Zeitraum bis zum Einstellen eines neuen Niveaus definiert.

Die Abb. 13 zeigt die Ergebnisse. Es sind die Mittelwerte der Latenzzeiten an den verschiedenen Messbezirken aufgetragen. Wie zu erwarten, spricht die Elektrode im Glaskörperzentrum erst viel später an - nach etwa 5 Minuten - als vor der Netzhaut - nach ca. 1 Minute.

In der Abb. 14 ist die Steigdauer wiedergegeben. Es wurden zum besseren Überblick Klassen gebildet, in denen die Differenzen der erreichten Messwerte zusammengefaßt sind. Die Klassengröße ist papillennah und peripher 20 mm Hg, zentral wegen der insgesamt niedrigeren Drucke nur 10 mm Hg. Den Säulen liegen jeweils 24, 35 und 21 ausgewertete Kurven zugrunde. An der Papille hatte sich schon nach 7 - 13 Min. ein neuer Wert eingestellt, peripher dauerte es 10 - 22 Min. und zentral 15 - 37 Min.

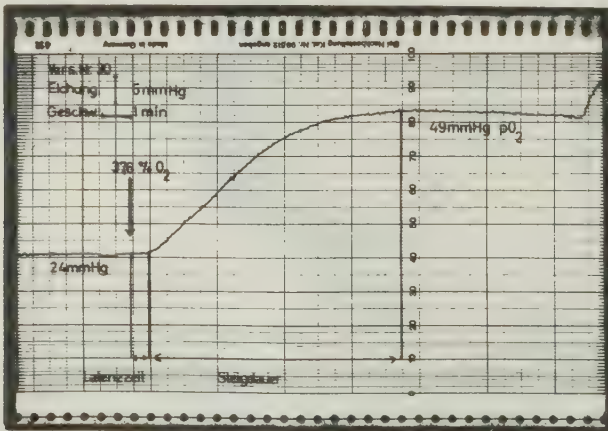


Abb. 12: Originalkurve einer pO_2 -Messung im Glaskörper bei Beatmung mit 2 verschiedenen O_2 -Gemischen; Abgrenzung von Latenzzeit und Steigdauer.



Abb. 13: Latenzzeiten an verschiedenen Glaskörperbezirken.

Abszisse: Meßbezirk

Ordinate: Zeit in Minuten.

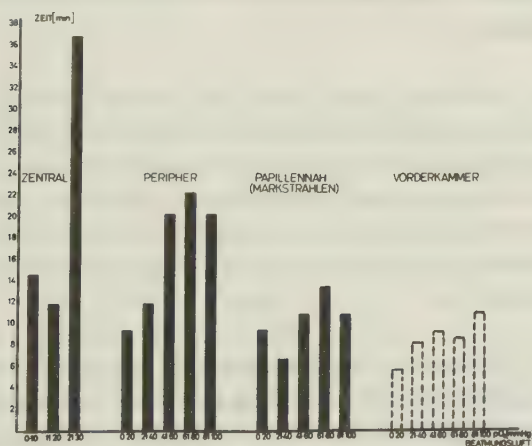


Abb. 14: Steigdauer an verschiedenen Glaskörperbezirken.

Abszisse: Meßbezirk

Ordinate: Zeit in Minuten.

Diskussion

a) Vorderkammer

Unter normalen Atembedingungen, d. h. bei Einatmung von Außenluft unter atmosphärischem Druck ist bei einem alveolären pO_2 von 100 mm Hg das Blut zu 97,5% mit O_2 gesättigt, wobei 0,3 ml O_2 in 100 ml Blut physikalisch gelöst sind. Werden Gasgemische höherer Sauerstoffkonzentration eingeatmet, dann können größere Sauerstoffmengen nur noch als vermehrt physikalisch gelöstes Gas transportiert werden, da das Hämoglobin schon unter normalen Bedingungen praktisch voll aufgesättigt ist.

Diesen Mechanismus der physikalischen Lösung muß man für die Zunahme des Sauerstoffdruckes im Kammerwasser bei Beatmung mit Gasgemischen höherer Sauerstoffkonzentration annehmen. Die blutgefäßführenden, die Vorderkammer begrenzenden Gewebe, in der Hauptsache also Iris und Ciliarkörper kämen für die Versorgung in Betracht. Als O_2 verbrauchende Gewebe sind zusätzlich noch Linse und Hornhaut anzunehmen.

DRENCKHAN u. LORENZEN (1958) haben mit einer blanken Platinelektrode ähnliche Messungen durchgeführt. Sie fanden, daß nach 2 Minuten O_2 -Beatmung die Sauerstoffkonzentration im Kammerwasser anstieg, ein Wert, der mit unseren gefundenen übereinstimmt. Der Höchstwert nach Beatmung mit reinem Sauerstoff wurde ungefähr nach 20 Minuten erzielt.

Die maximalen O_2 -Drucke im Kammerwasser während Sauerstoffbeatmung betrugen 94 - 136 mm Hg. Mit 94,1 mm Hg liegt unser niedrigster Wert gleich, als oberste Grenze bestimmten wir jedoch 340 mm Hg und in vier weiteren Versuchen Werte zwischen 234 und 276 mm Hg, also ebenfalls wesentlich höhere Drucke; zwei weitere mit 133 Torr entsprechen denen von DRENCKHAN u. LORENZEN. Die Differenzen in den Angaben der Höchstwerte können methodisch

bedingt sein. Wir benutzten eine membrangeschützte Platinelektrode, während die genannten Autoren eine blanke Platinelektrode verwandten. Andererseits besteht jedoch auch die Möglichkeit, daß die Pupillenweite einen Einfluß auf den erreichten Höchstwert hat. Unsere Tiere waren in extremer Atropin-Mydriasis, wodurch der Flüssigkeits- und Gasaustausch zwischen Hinter- und Vorderkammer verändert werden kann. Angaben über die Pupillenweite werden von DRENCKHAN u. LORENZEN nicht gemacht.

KLEIFELD u. HOCKWIN (1961) bestimmten nach intratrachealer Beatmung an menschlichen Augen mit reinem Sauerstoff den O_2 -Gehalt des Kammerwassers und fanden eine Steigerung auf das 1,3 bis 2,8-fache. Wurden Atemmasken benutzt, so konnte auch nach 90 Minuten Zufuhr von Sauerstoff eine Erhöhung nicht gemessen werden. Die Autoren nahmen allerdings an, daß der O_2 -Gehalt der Alveolarluft nicht genügend erhöht werden konnte. Bei dem von ihnen errechneten Mittelwert von 52,6 mm Hg würden sich Steigerungen auf 68,5 bis 122 mm Hg errechnen, Werte, die auch unter unseren, allerdings am Kaninchen gemessenen Höchstwerten liegen.

Sowohl aus den Versuchen von DRENCKHAN u. LORENZEN als auch aus unseren eigenen geht hervor, daß ein Übertritt von O_2 vom Blut ins Kammerwasser sehr schnell erfolgt. Eine Erhöhung des pO_2 im Blut hat schon nach der mittleren Latenzzeit von 2 Minuten einen O_2 -Anstieg zur Folge, der je nach Differenz zwischen Ausgangswert und erreichtem neuen Wert eine Steigdauer zwischen ca. 6 und 11 Minuten hat. Bessere zeitliche Vergleiche, auch zwischen anderen Substanzen, die vom Blut in die Vorderkammer übertreten, erlaubt die Angabe des "halben Konzentrationsanstieges", da der Kurvenverlauf bis zur letztlich erreichten Endkonzentration asymptotisch ist und große Konzentrationsunterschiede nicht mehr erreicht werden. Unsere Werte für den "halben Konzentrationsanstieg" lagen zwischen 3 und 6 Minuten; sie waren niedriger bei

geringer Druckdifferenz und am höchsten bei Unterschiedswerten von 100 Torr. Nach DRENCKHAN u. LORENZEN wird die Geschwindigkeit des Übertritts von O_2 vom Blut ins Kammerwasser durch die Möglichkeit der Aufsättigung des Kammerwassers begrenzt. Eine Rolle für die letztlich erreichten Höhen der Partialdrucke liegt in den umgebenden sauerstoffabgebenden und sauerstoffverbrauchenden Geweben. Je höher der O_2 -Verbrauch - beim Pupillenspiel oder bei Akkomodationsvorgängen - um so geringer die Abgabe von O_2 an das Kammerwasser und umgekehrt.

Weitere Versuche unter verschiedenen experimentellen Bedingungen - nach Gaben von Miotica und Mydriatica mit unterschiedlichen Angriffspunkten sowie gefäßverengenden und gefäßweiternden Mitteln - könnten Aussagen über den O_2 -Verbrauch der vorderen Uvea bei Akkomodationsvorgängen sowie bei Tätigkeit des Musculus sphinkter und dilatator pupillae geben.

b) Glaskörper

Die heutigen Vorstellungen von der Sauerstoffversorgung der Netzhaut sind kurz skizziert so, daß die Grenze zwischen Aderhaut- und Netzhautgefäßversorgung in der HENLEschen Faserschicht (PODESTA u. ULLERICH 1961).

JACOBI u. DRIEST (1965) hatten eine charakteristische Verteilung des Sauerstoffs im Glaskörper gefunden - niedrige Drucke im Zentrum, höhere vor der Netzhaut. KRAUSE u. GOREN (1956) schließen auf Grund der anatomischen Verhältnisse, daß der vordere Glaskörper seinen Sauerstoff über das Gefäßsystem des Ciliarkörpers erhält, die hinteren Anteile von den Retinagefäßen.

Wie fügen sich unsere neuen Feststellungen nun in dieses Bild ein? KROGH (1924) hatte für Muskelgewebe folgendes Schema für die Sauerstoffversorgung entwickelt, das von

OPITZ u. SCHNEIDER (1950) auf das Gehirngewebe erweitert worden war und sich prinzipiell auch auf die Netzhaut anwenden läßt:

Die Abb. 15 zeigt schematisch einen Gewebszylinder nach einer Darstellung von OPITZ (1948), die wir nach den Gegebenheiten der Netzhaut und des Glaskörpers modifiziert haben. Ein Gewebstück wird von einer zentralen Capillare versorgt. Innerhalb der Capillare beträgt auf der arteriellen Seite der pO_2 95 mm Hg, am venösen Ende 34 mm Hg (NOELL u. SCHNEIDER 1948). Der Sauerstoff diffundiert aus der Capillare senkrecht zur Achse in radialer Richtung in das angrenzende Gewebe und versorgt den Bereich eines Kreiszyinders, dessen Achse die Capillare bildet. Darunter ist ein Glaskörperausschnitt gezeichnet, der entsprechend den besonderen Verhältnissen am Auge noch in den Versorgungsbereich des Zylinders mit eingeschlossen werden muß, der aber andererseits - wenn überhaupt - nur einen geringen Sauerstoffeigenverbrauch hat.

Wird den das Corpus vitreum umgebenden Geweben durch Zufuhr sauerstoffreicher Gasgemische vermehrt O_2 angeboten, diffundiert Sauerstoff in den Glaskörper, bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat (Abb. 16). Sinkt umgekehrt der pO_2 im Gewebe bei akuter oder chronischer Minderversorgung auf niedrigere Werte als im Glaskörper, dann sollte entsprechend dem Druckgefälle vom Glaskörper zum Gewebe O_2 zurückfließen. Es erscheint diskutabel, daß unter diesen Umständen über den Glaskörper vom Ciliarkörperkreislauf ein gewisser Sauerstoffnachschub erfolgen kann, der zum Strukturstoffwechsel der Netzhaut beiträgt. Die Feststellungen können zu der Annahme führen, daß über den Glaskörper für O_2 eine funktionelle Verbindung zweier Gefäßsysteme, des Ciliarkörpers und der Netzhaut besteht.

Die Versuche von BEST u. GLASENAPP (1955), die unter Sauerstoffbeatmung die Schwellen für farbloses und rotes Licht unter Erhöhung des intraokularen Druckes bestimmten,

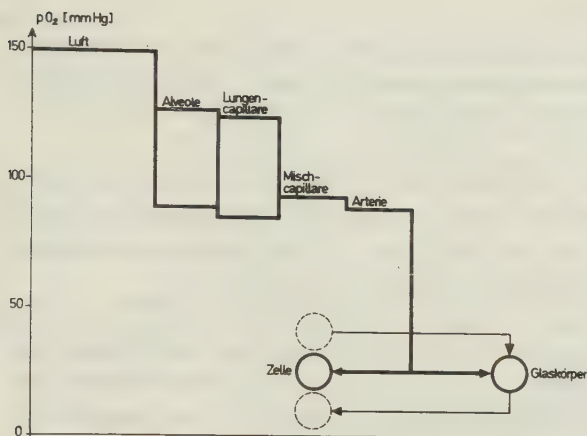


Abb. 16: Abfall des pO_2 von der Atemluft über Alveolen und Blut bis zum Gewebe. An der Netzhaut-Glaskörpergrenze ist unter physiologischen Bedingungen ein Gleichgewichtszustand angenommen.

stimmen, sollen nur erwähnt werden (WEGNER 1928, BÖCK, BORNSCHEIN u. HOMMER 1959).

Sicherlich spielt, vor allem bei den zuerst genannten Versuchen, die Sauerstoffversorgung aus den Aderhautgefäßen die entscheidende Rolle, aber gerade die ERG Ableitungen an enucleierten Augen lassen die Annahme des geschilderten Mechanismus möglich erscheinen.

Bei der Deutung unserer Versuche sind wir uns ganz besonders klar darüber gewesen, daß der Schluß vom Tierversuch auf den Menschen, vor allem was die Wahl unserer Versuchstiere betrifft, nur bedingt zulässig ist. Es sollte vielmehr ein Modell zur Diskussion gestellt werden.

Zusammenfassung

1. Einleitend wird die Problemstellung und die Bedeutung der Sauerstoffversorgung zur Erhaltung einer normalen Funktion des Auges besprochen.

2. Es wird ein Überblick über die bisher in der Literatur beschriebenen Methoden zur Sauerstoffbestimmung in der Vorderkammer und im Glaskörper unter normalen und experimentell abgewandelten Bedingungen gegeben.

3. Das Prinzip der Polarographie wird an Hand einer vereinfachten Darstellung beschrieben und insbesondere die Messung des Sauerstoffpartialdruckes mit der verwendeten Miniaturplatinelektrode erläutert, wobei auf die Eichung mit verschiedenen Gasgemischen und auf die Temperatureichung eingegangen wird.

4. Es wird über fortlaufende Messungen des Sauerstoffpartialdruckes in der Vorderkammer des lebenden Kaninchenauges unter Beatmung mit Gasgemischen verschieden hoher O_2 -Konzentration berichtet. Die Ergebnisse von 55 Messungen werden diskutiert und mit den Versuchen anderer Autoren verglichen.

5. Mit einer Platinelektrode wurden unter Beatmung mit Gasgemischen verschiedener Sauerstoffkonzentrationen die Sauerstoffpartialdrucke (pO_2) im Glaskörper lebender Kaninchenaugen polarographisch gemessen. Vor der Netzhaut, nahe der Papille, fand sich ein höherer Anstieg als bei peripherer und zentraler Elektrodenlage. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse und der zeitlichen Analyse von Latenzzeit (=Zeit bis zum Ansprechen der Elektrode) und der Steigdauer (=Zeit bis zum Einstellen eines neuen Niveaus) wird die Rolle des Glaskörpers als potentiellles Sauerstoffdepot für den Stoffwechsel der Netzhaut besprochen. Es erscheint diskutabel, über den Glaskörper eine funktionelle Verbindung zweier Gefäßsysteme, des Ciliarkörpers und der Netzhaut, für Sauerstoff anzunehmen.

Literatur

- BEST, W. u.
J.V. GLASENAPP: Über die Wirkung kurzdauernder experimenteller Steigerung des intraocularen Druckes auf die Netzhautfunktion.
Ber.Dtsch.Ophthal.Ges. 55, 232 (1955)
- BIETTI, G.B. u.
A. GIARDINI: Influenza dell'anossia sui movimenti oculari.
Riv.med.aeronaut. 12, 198 (1949)
- BÖCK, J., H. BORN-
SCHEIN u. K. HOMMER: Die Überlebenszeit der a-Wellen im Elektroretinogramm des Menschen.
v.Graef.Arch. 161, 6 (1959)
Der Einfluß der Umgebungstemperatur auf die retinale Überlebenszeit enucleierter Bulbi.
Vision Res. 4, 609 (1964)
- BYRNES, V.A.: Visual problems of supersonic speeds.
Amer.J.Ophthal. 34, 169 (1951)
- CIBIS, P.A.: Retinal adaption in night flying.
J.Ariat.Med. 23, 168 (1952)
- CLARK, L.C.jr.,
R.WOLF, D. GRANGER
u. Z. TAYLOR: Continuous Recording of Blood Oxygen Tensions by Polarography.
J.appl.Physiol. 3, 189 (1953)
- DAVIS, P.W. u.
F. BRINK jr. Rev. sci. Instr. 13, 524 (1942)
- DE HAAN, I.: La tension et la consommation d'oxygène dans l'humeur aqueuse.
Arch.neerl.Physiol. 7, 245 (1922)
zit. nach DRENCKHAN.
- DRENCKHAN, F.C. u.
K.K. LORENZEN: Der Sauerstoffdruck in der Vorderkammer des Auges und die Geschwindigkeit der Sauerstoffaufsättigung des Kammerwassers.
v.Graef.Arch. 160, 378 (1958)
- DRIEST, J.: Fortlaufende Sauerstoffpartialdruckmessungen in der Vorderkammer und im Glaskörper des lebenden Auges.
Dissertation, Marburg (1966)

- FISCHER, F.P.: Ein Versuch den Energiewechsel im Auge zu bestimmen.
Ber.Dtsch.Ophthal.Ges. 48, 95 (1930)
- FISCHER, F. u.
I. JONGBLOED: Untersuchungen über die Dunkeladaptation bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atemluft.
Arch.f.Augenheilk. 109, 452 (1936)
- FRIEDENWALD, I.S.
u. F.H. PIERCE: Circulation of the aqueous.
Arch.Ophthal. 17, 477 (1937)
- GIARDINI, A.: Permeabilità della barriera ematoftalmica alla fluorescina in anossia acuta.
Riv.med.aeronaut. 15, 1 (1952)
zit. nach DRIEST
- GLEICHMANN, K. u.
D.W. LÜBBERS: Die Messung des Sauerstoffdruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der Platinelektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 271, 431 (1960)
- GOLDMANN, H. u.
G. SCHUBERT: Untersuchungen über das Gesichtsfeld bei herabgesetztem Sauerstoffdruck der Atmungsluft.
Arch.f.Augenheilk. 107, 216 (1933)
- GRÄNGSJÖ, G. u.
H.R. ULFENDAHL: Elektroder för mätning av pO_2 och pCO_2 .
Svenska Lätarkidningen 55, 3631 (1958)
- HANS, W., O. HOCKWIN
u. O. KLEIFELD: Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauchs der Linse auf polarographischem Wege.
v.Graef.Arch. 157, 72 (1955/56)
- HEALD, K. u.
M. LANGHAM: Permeability of the cornea and the blood aqueous barrier to oxygen.
Brit.J.Ophthal. 40, 705 (1956)
- HILTY, H.J. u.
A. MEISSL: Zur Sauerstoffdruckmessung nach dem polarographischen Prinzip unter Verwendung einer modifizierten Clark-Elektrode.
Thorax & Vaskul.Chir. 14, 30 (1966)
- JACOBI, K.W. Eine Methode zur fortlaufenden Sauerstoffbestimmung im Kammerwasser und Glaskörper des lebenden Auges.
v.Graef.Arch. 168, 61 (1965)

- JACOBI, K.W.: Über fortlaufende Messungen des Sauerstoffpartialdruckes in der Vorderkammer des lebenden Kaninchenauges. v.Graef.Arch. 169, 350 (1966)
- JACOBI, K.W. u. J. DRIEST: Sauerstoffbestimmungen im Glaskörper des lebenden Auges. Ber.Dtsch.Ophthal.Ges. 67, 193 (1965)
- JOHANSEN, K. u. J. KROG: Polarographic Determination of intra-vascular Oxygen Tensions in Vivo. Acta physiol.scand. 46, 228 (1959)
- KANEKO, T.: Über Sauerstoffverbrauch und Durchblutungsgröße des Auges. Pflügers Arch.ges.Physiol. 209, 122 (1925)
- KLEIFELD, O. u. O. HOCKWIN: Der Sauerstoffgehalt des menschlichen Kammerwassers nach Beatmung. Klin.Mbl.Augenheilk. 139, 513 (1961)
- KLEIFELD, O. u. H.G. NEUMANN: Der Sauerstoffgehalt des menschlichen Kammerwassers. Klin.Mbl.Augenheilk. 135, 224 (1959)
- KRAUSE, A.C. u. B.S. GOREN: The effects of hypoxia and hyperoxia upon oxygen tension in the vitreous humor of the cat. Amer.J.Ophthal. 42, 764 (1956)
- KROGH, A.: Anatomie und Physiologie der Capillaren. Springer Verlag, Berlin 1924 u. 1929
The rate of diffusion of gases through animal tissues, with some remark on the coefficient of invasion. J.Physiol. 52, 391 (1919)
- KRONFELD, P.: Die Frage der Linsenatmung. Ber.Dtsch.Ophthal.Ges. 230 (1927)
- KRONFELD, P. u. L. BOTHMANN: Zur Frage der Linsenatmung. Z.Augenheilk. 65, 41 (1928)
zit. nach HANS, W.
- KYRIELEIS, W. u. P. SIEGERT: Untersuchungen über das Gesichtsfeld bei Sauerstoffmangel und Unterdruck. Arch.Augenheilk. 109, 178 (1936)

- LÜBBERS, D. u.
Th. OCKENGA: Apparatur zur Messung des Sauerstoff-
druckes in physiologischen Lösungen
und Blut mit der Platinelektrode.
Arch.ges.Physiol. 268, 71 (1958/59)
- MASHIMO, N.: Über den Gaswechsel der Linse.
Klin.Wschr. 1923 (1809)
zit. nach HANS, W.
- MEESMANN, A.: Blutgasanalysen am Kaninchenauge.
Ber.Dtsch.Ophthal.Ges. 48, 99 (1930)
- NOELL, W.K.: Metabolic injuries of the visual cell.
Amer.J.Ophthal. 40, 60 (1955)
- NOELL, W. u.
M. SCHNEIDER: Quantitative Angaben über Durchblu-
tung und Sauerstoffversorgung des
Gehirns.
Pflügers Arch.Physiol. 250, 35 (1948)
- NEUMANN, H.G.: Berichte des Wirtschaftsministeriums
1958.
Dissertation 1958
- OPITZ, E.: Über die Sauerstoffversorgung des
Zentralnervensystems.
Naturwiss. 35, 80 (1948)
- OPITZ, E. u.
M. SCHNEIDER: Über die Sauerstoffversorgung des
Gehirns und den Mechanismus von
Mangelwirkungen.
Ergebn.d.Physiol. 46, 126 (1950)
- PAPST, W. u. J. HECK: Der Erholungsverlauf des ERG nach
intraoculärer Ischämie und seine
Beeinflussung durch Hypoglykämie.
v.Graef.Arch. 159, 52 (1957)
- PODESTA, H.H. u.
K. ULLERICH: Zur Anatomie und funktionellen Bedeu-
tung der Kapillarbahn der Netzhaut
und Aderhaut.
Europ.Konf.Mikrozirkulation, Hamburg,
1960.
Bibl.anat. 1, 150 (1961)
zit. nach RÖHEN, J.
- POPP, C.: Die Retinafunktion nach intraokulärer
Ischämie.
v.Graef.Arch. 156, 395 (1955)

- REEVES, B., D.W.
RENNIE u. J.R.
PAPPENHEIMER: Oxygen Tension of Urine and its Significance.
Fed.Proc. 16, 693 (1957)
zit. nach HILTY u. MEISSL
- ROHEN, J.: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Auges.
3.Bd., 4. Teil Springer Verlag
Berlin 1964
- RUFF, S. u.
H. STRUGHOLD: Grundriß der Luftfahrtmedizin.
J.A. Barth, München, 1957
- SCHMIDT, J.: Farbsinnuntersuchungen an normalen und anomalen Trichomaten im Unterdruck.
Luftf.med. 2, 55 (1937)
- SCHUBERT, G.
u. H. BORNSCHEIN: Elektroretinogramm und Helligkeitswahrnehmung bei Hypoxie.
Wien.Z.Nervenheilk. 4, 393 (1952)
- SEVERINGHAUS, J.W.
u. A.F. BRADLEY: Elektrodes for Blood pO_2 and pCO_2 Determination.
J.appl.Physiol. 13, 515 (1958)
- VELHAGEN, K.: Die hypoxämische Farbenasthenopie, eine latente Störung des Farbensinnes.
Arch.f.Augenheilk. 109, 606 (1936)
- WEGNER, W.: Die Funktion der menschlichen Netzhaut bei experimenteller Ischämia retinae.
Arch.f.Augenheilk. 98, 514 (1928)

Herrn Prof. Dr. med. W. Straub bin ich für die Überlassung des Themas und für sein Entgegenkommen bei der Benutzung der Laboratorien und der Bibliothek zu Dank verpflichtet.

Herrn Dr. med. K.W. Jacobi danke ich für die wertvollen Anregungen und den ständigen Rat bei der Durchführung der Arbeit.

Lebenslauf

Am 19. September 1941 wurde ich in Duisburg-Hamborn als Sohn des praktischen Arztes Dr. med. Adolf Linden und seiner Ehefrau Marie Linden, geborene Darmstädter, geboren. Ich habe noch einen Bruder, der 1939 geboren wurde.

Im Frühjahr 1948 wurde ich in die Grundschule eingeschult. Von 1952 bis 1961 besuchte ich das naturwissenschaftlich-neusprachliche Max-Planck-Gymnasium in Duisburg-Meiderich, wo ich am 6. März 1961 die Reifeprüfung ablegte.

Im Sommersemester 1961 immatrikulierte ich mich für das Fach Medizin an der Philipps-Universität in Marburg, wo ich nach 5 Semestern die ärztliche Vorprüfung bestand. Im zweiten klinischen Semester studierte ich an der Universität in Hamburg, im dritten klinischen Semester an der Eberhardt-Karls-Universität in Tübingen.

Seit dem vierten klinischen Semester war ich wieder an der Philipps-Universität in Marburg an der Lahn immatrikuliert.

Im Sommersemester 1966 habe ich mich zur ärztlichen Prüfung gemeldet. Am 16. März 1967 bestand ich das medizinische Staatsexamen.

M e i n e a k a d e m i s c h e n L e h r e r
w a r e n d i e H e r r e n P r o f e s s o -
r e n u n d D o z e n t e n :

In Marburg:

Amon, Beckmann, Behrend, Berendes, Bommer, Braun-
Falco, Brück, Buchholz, Bücher, Cleve, Dimroth,
Dölle, Drawert, Exner, Ganz, Gedigk, Hamm, Hardewig,
Hensel, Heuser, Hohorst, Hornung, Jacob, Klingenberg,
Knauff, Lang, Linneweh, Mahr, Martini, Marx, Mathes,
Niessing, Petry, Petzold, Poetsche, Rodeck, Rohen,
Sauer, Schiff, Schleyer, Schmid, Schmidt, Schwaiger,
Seidel, Siegert, Staib, Straub, Streicher, Strohmeier,
Vogt, Walcher, Würterle.

In Hamburg:

Bartelheimer, Draeger, Giebel, Harmsen, Krauspe,
Schubert, Uhlmann.

In Tübingen:

Adam, Bauer, Bock, v.Brunn, Dick, Heni, Kaufmann,
Probst, Seybold.

